

fléchisseurs, les appendices ravisseurs de la squille sont déployés par les muscles extenseurs lorsque l'animal frappe, et sont repliés contre le corps par les muscles fléchisseurs pendant qu'il vaque à ses autres activités.

Emmagasiner de l'énergie élastique

Cependant, lorsque la squille doit décocher un coup puissant, elle contracte simultanément les muscles extenseurs et fléchisseurs (comme les contractions des muscles antagonistes des jambes que nous effectuons avant de sauter). Le gros muscle extenseur comprime un système élastique, constitué par une partie en forme de selle de la carapace de l'appendice ravisseur. Quant au minuscule muscle fléchisseur, il tire, en se contractant, une saillie minéralisée de son tendon et coince cette espèce de loquet par-dessus une petite protubérance de l'appendice (voir la figure page suivante).

Ainsi, ces deux contractions mettent le système sous tension élastique et le bloquent. Pour frapper, la crevette-mante relâche le muscle fléchisseur et débloquent sa gâchette. L'énergie élastique emmagasinée se libère alors brusquement et pousse violemment le marteau vers l'avant.

À des degrés divers, c'est l'astuce de tous les systèmes de forte puissance : ils séparent, spatialement et temporellement, l'amorçage lent et le stockage de l'énergie de la libération rapide d'énergie, qui amplifie la puissance.

Ainsi, les fourmis à mâchoires-pièges relâchent de minuscules verrous qui bloquent leurs mandibules préarmées, ce qui leur permet de tuer une proie ou de sauter.

Dans les champignons qui propulsent leurs spores, deux gouttelettes grossissent progressivement jusqu'à ce qu'elles fusionnent brusquement, ce qui fournit la puissance nécessaire au lancement d'une spore.

Chez les méduses, les cellules urticantes – les cnidocytes – se pressurisent lentement, puis, quand leur cil sensitif est stimulé par le contact d'une proie, elles s'ouvrent d'un coup et expulsent leur nématocyste, un organite urticant composé notamment d'un filament épineux et venimeux (voir la figure ci-contre).

Les premières images à grande vitesse des coups portés par la squille multicolore



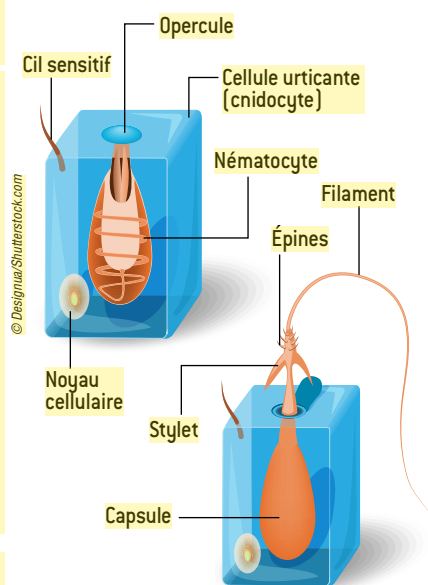
ont montré une autre caractéristique remarquable : la formation d'une grosse bulle entre le marteau de la squille et sa proie, puis son implosion. C'est la source première des bruits secs entendus au laboratoire. Il s'agit du phénomène dit de cavitation, qui se produit lors de mouvements très rapides dans un fluide.

De tels mouvements créent en effet des zones de basse pression, où se forment des bulles de vapeur. Ces bulles s'effondrent en un temps si court que l'énergie brutalement libérée peut conduire localement à de hautes températures et à l'émission de lumière ou de son. C'est un défi pour les ingénieurs : par exemple, les hélices des bateaux qui tournent très vite s'usent sous l'effet de l'implosion des bulles de cavitation, et les sous-marins en mouvement rapide font beaucoup de bruit, également en raison de l'implosion des bulles, ce qui est bien sûr gênant pour des vaisseaux censés être discrets.

Coup double avec les bulles de cavitation

Les armes fondées sur la cavitation étaient déjà connues des biologistes qui avaient observé la production de bulles par les crevettes-pistolets (de lointaines cousines des crevettes-mantes). Toutefois, les forces de cavitation restaient à mesurer dans ces contextes biologiques. J'ai développé une approche qui utilise des capteurs piézoélectriques opérant à des cadences très élevées. Grâce à elle, nous avons mesuré à la fois les forces produites par l'impact de l'appendice

LA FERMETURE DES MANDIBULES de fourmis à mâchoires-pièges (photographie) et le déclenchement des cellules urticantes des méduses (schémas) sont d'autres exemples de mouvements biologiques ultrarapides.



et celles engendrées par l'implosion de la bulle de cavitation. Nous avons ainsi mis en évidence que chaque coup de marteau de la squille est double: il y a d'une part l'impact mécanique, d'autre part l'impact des ondes de pression dues à l'implosion de la bulle de cavitation. Les forces atteignent 400 à 1 500 newtons pour l'impact mécanique, et les forces de cavitation 500 newtons.

Un appendice qui tient le choc

Les puissants assauts de la squille contre les coquillages marins sont associés à un risque non négligeable pour le crustacé d'endommager son propre appendice. De fait, les coquilles d'escargots marins sont considérées comme l'un des matériaux biologiques les plus solides, et pourtant la squille parvient à les briser sans abîmer ses propres appendices.

Intrigués par cette capacité peu commune, David Kisailus, de l'université de Californie à Riverside, et ses collègues

ont révélé la composition matérielle et l'arrangement structural du marteau qui rend possible cette remarquable performance. Ces chercheurs ont découvert que la couche externe du marteau est très dure et fortement minéralisée, principalement composée de phosphore concentré (par exemple du phosphate de calcium) et du matériau habituel des crustacés, le carbonate de calcium. Au sein du marteau, les matériaux sont disposés en couches successives, dont l'orientation tourne, architecture qui a pour effet de dissiper l'énergie et de concentrer les microfissures à l'intérieur de la structure plutôt qu'à sa surface.

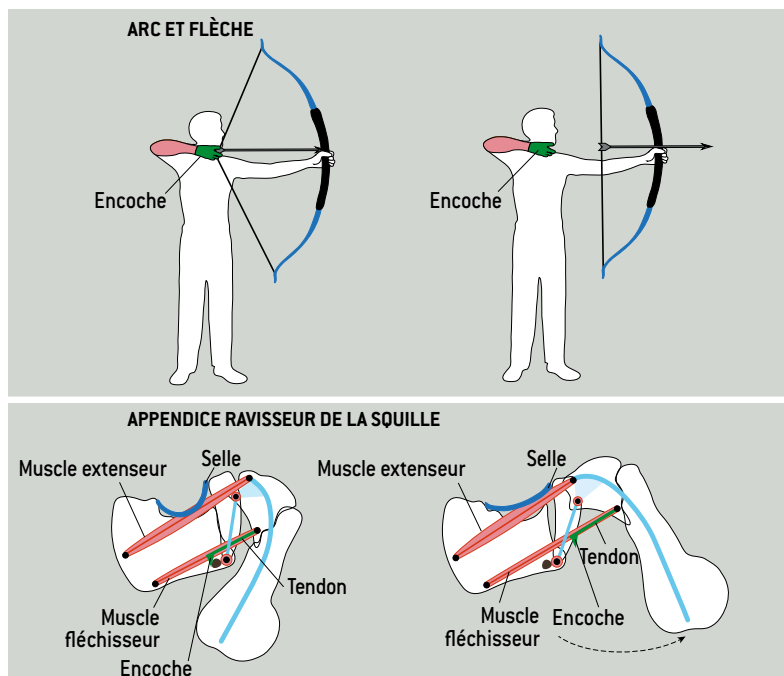
Ces découvertes des principes structuraux de l'atténuation des fractures d'impact dans les appendices de la squille ont déjà inspiré de nouveaux matériaux résistants aux impacts. Toujours dans l'équipe de David Kisailus, des chercheurs ont utilisé de petits morceaux de matériaux à base de fibres de carbone et époxy et les ont façonnés en un arrangement hélicoïdal semblable à l'architecture du marteau de la squille. Ils ont alors testé la résistance à l'impact et à la fatigue du nouveau matériau, comparé au marteau de la squille à des échelles de taille similaires. À terme, on pourrait utiliser les matériaux inspirés par les squilles dans des systèmes de protection alliant légèreté et résistance à des impacts d'objets rapides.

Le coup de marteau a un coût

En toute logique, tous les organismes auraient intérêt à avoir des capacités cinématiques extrêmes. Pourtant, les scientifiques ne connaissent qu'une poignée d'organismes ultrarapides. Une première explication à cela est tout bonnement que nous ne les avons pas encore tous découverts, entre autres parce que les mouvements ultrarapides sont invisibles à l'œil nu. Avant de filmer les squilles à l'aide de caméras à haute vitesse, nous n'avions aucune idée de leur rapidité réelle.

Les découvertes réalisées sur la squille nous ont poussés à rechercher d'autres organismes ultrarapides, ce qui a conduit aux études sur les fourmis à mâchoires-pièges, ainsi que sur le lancement quasi invisible de spores par certains champignons. Mais il est également probable qu'un ensemble de compromis guident et limitent la diversification

DE L'ÉNERGIE LIBÉRÉE BRUTALEMENT



Les mouvements ultrarapides tels que celui de l'appendice des squilles frappeuses reposent sur un mécanisme de type ressort, un peu comme un arc et une flèche. Un système élastique (en bleu foncé) – la selle chez la squille – emmagasine de l'énergie potentielle. Cette dernière est libérée en un temps très court par un mécanisme de type gâchette ou verrou (en vert) – dans le cas de la squille, une encoche située sur le tendon du muscle fléchisseur est débloquée.